

УПРАВЛЕНИЕ АКТИВНЫМ КОРРЕКТОРОМ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Актуальность. Алгоритмы управления трехфазными мостовыми преобразователями со звеном постоянного тока строятся в соответствии с концепцией подчиненного регулирования координат на основе гистерезисного [1] или упреждающего управления входными токами преобразователя [2]. Такие подходы используют линеаризованную модель, и поэтому не позволяют достичь возможного быстродействия, точности регулирования, а также требуют значительной емкости в звене постоянного тока.

Цель. На основе концепции формирования энергии преобразования, разработать и исследовать векторный алгоритм управления реактивной мощностью активного корректора коэффициента мощности (АККМ).

Результаты исследования. На основе концепции формирования полной энергии преобразователя [3] было получено решение задачи управления входным выпрямителем преобразователя со звеном постоянного тока, обеспечивающее стабилизацию напряжения в звене постоянного тока при нулевом потреблении реактивной мощности со стороны сети. В данной работе эта концепция используется при проектировании алгоритма управления трехфазным повышающим мостовым AC-DC преобразователем, работающим в режиме АККМ. Проектирование базируется на том, что параметры элементов входной цепи АККМ известны и не зависят от времени и источник напряжения идеален. Считается, что токи i_d , i_q и напряжение в звене постоянного тока V_d доступны для измерения. В синхронно вращающейся системе координат (d-q), ориентированной по вектору напряжения сети, модель АККМ описывается уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{V}_d &= 3(p_d i_d + p_q i_q) / 4C \\ \dot{i}_d &= \omega i_q - R i_d / L - V_d p_d / 2L + E / L \\ \dot{i}_q &= -\omega i_d - R i_q / L - V_d p_q / 2L,\end{aligned}\tag{1}$$

где ω - угловая частота вращения вектора напряжения, p_d и p_q - функции управления ключами, E - амплитуда фазного напряжения.

Для модели преобразователя (1) синтезировался алгоритм формирования p_d , p_q , который обеспечивал бы $\lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{i}_q = 0$, где $\tilde{i}_q = i_q - i_q^*$, \tilde{i}_q и i_q^* - ошибка регулирования и задание реактивной составляющей входного тока АККМ соответственно, и стабилизировал напряжение в звене постоянного тока с ограниченной ошибкой $\tilde{V} = V_d - V^*$ при задании напряжения $V^* > 0$.

Алгоритм управления реактивной компонентой вектора входного тока АККМ сформирован в виде:

$$p_q = -2L(\omega i_d + R i_q^* / L - k_{iq} \tilde{i}_q - x_q) / V_d, \quad \dot{x}_q = k_{iqi} \tilde{i}_q, \quad V_d \neq 0,\tag{2}$$

где $k_{iq} > 0$, $k_{iqi} > 0$ - настроечные коэффициенты пропорциональной и интегральной составляющих регулятора тока по оси q.

Основной целью является полная компенсация реактивной мощности в установившихся режимах, поэтому примем $\dot{i}_q^* = \text{const}$. Результирующая динамика ошибки отработки реактивной составляющей тока запишется:

$$\dot{\tilde{i}}_q = -(R/L + k_{iq}) \tilde{i}_q - x_q - i_q^*, \quad \dot{x}_q = k_{iqi} \tilde{i}_q.\tag{3}$$

Динамика ошибок отработки реактивного тока (5) линейна и асимптотически устойчива для всех $k_{iq} > 0$, $k_{iqi} > 0$, и, за счет развязывающих свойств управления, не зависит от регулирования напряжения.

Введем нелинейное преобразование координат в соответствии с используемой концепцией:

$$W = 3L(i_d^2 + i_q^2) / 4 + C V_d^2 / 2\tag{4}$$

$$y = 3(E - R i_d) i_d / 2 - 3 R i_q^2 / 2,\tag{5}$$

где W - это энергия запасенная в системе, а y - мощность, поступающая в звено постоянного тока. В новых переменных первые два уравнения в (1) запишутся:

$$\begin{aligned}\dot{W} &= y \\ \dot{y} &= -2Ry/L + 3E(E - R i_d + L \omega i_q) / 2L - 3R i_q(\omega i_d + R i_q / L) - 3V_d(E - 2R i_d) p_d / 4L.\end{aligned}\tag{6}$$

Условие $(E - 2R i_d) \neq 0$ обеспечивается практически всегда, поэтому можем сформировать управление линеаризующее обратной связью в виде:

$$p_d = -4L \left(-E(E - Ri_d + L\omega i_d) / 2L + Ri_q (\omega i_d + Ri_q / L) + u \right) / V_d (E - 2Ri_d) \quad (7)$$

Если новое управляющее воздействие u , задание для энергетической функции W и виртуальное задание тока i_d сформировать в виде:

$$W^* = \frac{3}{4}L(i_d^{*2} + i_q^{*2}) + \frac{1}{2}CV^{*2}, i_d^* = E - \sqrt{E^2 - 4R^2 i_q^{*2}} / 2R, u = -k_{y1}\tilde{y} - k_W\tilde{W}, \quad (8)$$

то динамика ошибок системы в новых координатах, с учетом $\tilde{W} = W - W^*$, $\tilde{y} = y$, примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{\tilde{W}} &= \tilde{y} \\ \dot{\tilde{y}} &= -k_{y1}\tilde{y} - k_W\tilde{W}, \end{aligned} \quad (10)$$

где $k_y = 2R/L + k_{y1} > 0$, $k_W > 0$ – коэффициенты обратных связей по мощности и энергии. Глобальная экспоненциальная устойчивость системы (3), (10) доказана в [3].

Исследование выполнялось с использованием модели (1), при питании от трехфазной сети с амплитудой напряжения $E = 310$ В, частотой 50 Гц, индуктивностью входного фильтра $L = 0.01$ Гн и активным сопротивлением $R = 1$ Ом. Значения настроечных параметров в алгоритме управления (2), (7), (9) приняты: $k_x = 62500$, $k_y = 500$, $k_{iq} = 800$, $k_{iq1} = 2.5 \cdot 10^5$. Считалось, что конденсатор в звене постоянного тока ($C = 1000$ мкФ) предварительно заряжен до 540 В, рис. 1. Исследовалась работа АКМ при скачкообразном изменении задания для реактивного тока на входе до $i_q^* = 20$ ($t = 0.3$ с) и реверсировании до $i_q^* = -20$ ($t = 0.4$ с). Исследование показало, что ошибка стабилизации тока в статике равна нулю, а ошибки, возникающие при скачкообразном изменении задания затухают в ноль за 0.04с. При этом ошибка стабилизации напряжения в звене постоянного тока не превышает 7 В, а токи являются ограниченными. В установившемся режиме фазный ток и напряжения на входе АКМ синусоидальны, при этом до 0.4с ток опережает напряжение почти на 90° , а после этого отстает на тот же угол.

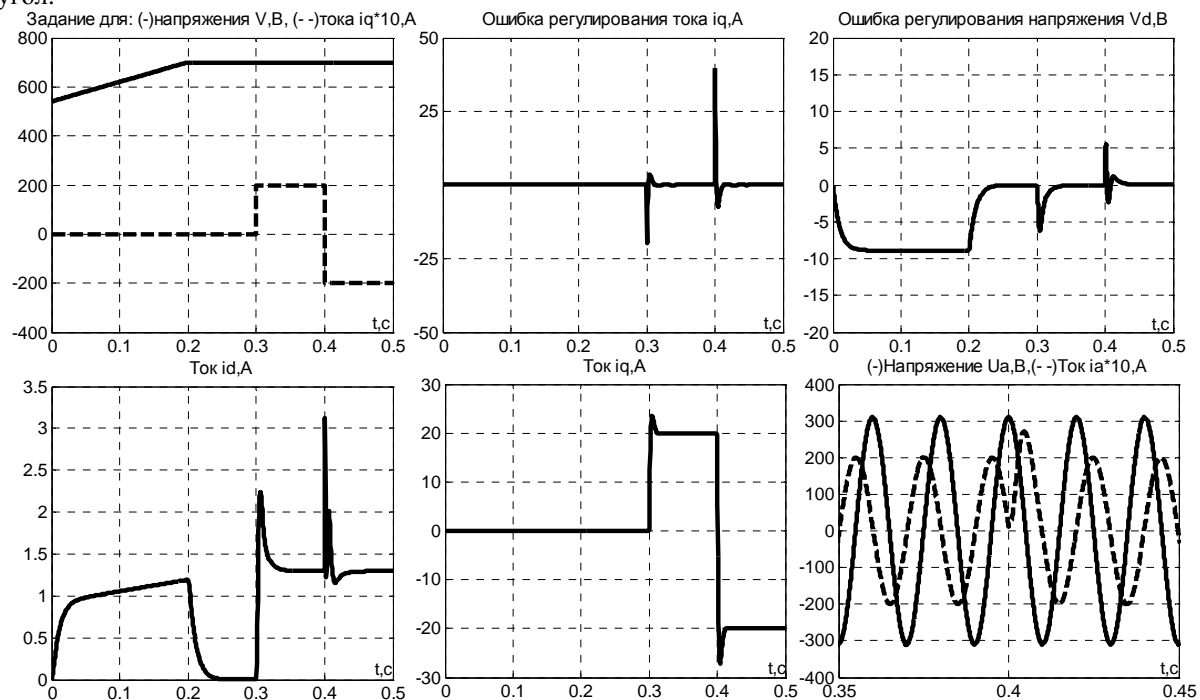


Рисунок 1 – Исследование алгоритма управления компенсатором коэффициента мощности

Выводы. На основе концепции формирования энергии преобразования разработан не прямой, линеаризующий обратной связью, алгоритм управления АКМ, реализующий независимое управление активной и реактивной мощностями, циркулирующими в преобразователе, и обеспечивающий глобальную асимптотическую стабилизацию реактивной мощности и напряжения в звене постоянного тока одновременно.

ЛИТЕРАТУРА

1. B Dell'Aquila A., Liserre M., Cecati C., Ometto A. A fuzzy Logic CC-PWM Three-Phase AC/DC Converter // Conference Record of the 2000 IEEE Industry Applications Conference. – 2000. – vol.2. – P. 987 – 992.
2. Wu R., Dewan S. B., Slemon G. R. Analysis of a PWM ac-to-dc Voltage source converter under the predicted Current Control with a fixed switching frequency. // IEEE Truns. Ind. Appl. – 1990. – vol. 27. – no. 4. – P. 756 – 764.
3. Пересада С.М. Новая концепция управления входным преобразователем: формирование полной энергии преобразования / С.М. Пересада, С.В. Король // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Силова електроніка та енергоефективність”. – 2002. – Ч. 1. – С. 66 – 70.